

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **2002-090118**

(43)Date of publication of application : **27.03.2002**

(51)Int.Cl.

G01B 11/00

G01B 11/26

G06T 1/00

(21)Application number : **2000-
284318**

(71)Applicant : **OLYMPUS OPTICAL CO
LTD**

(22)Date of filing : **19.09.2000**

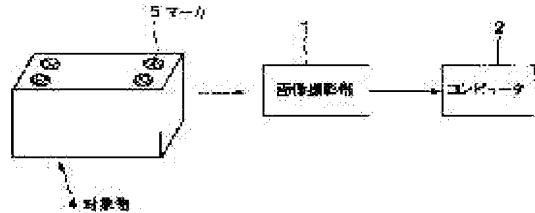
(72)Inventor : **AKATSUKA YUICHIRO
SAITO AKITO
SHIBAZAKI TAKAO**

(54) THREE-DIMENSIONAL POSITION AND ATTITUDE SENSING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a three-dimensional position and attitude sensing device capable of performing a measurement in a wide range when analyzing the photographed image of a known marker whose position and attitude relation with an object is known and determining the relative position and attitude relation between the marker and a photographic means to determine the position and attitude of the object.

SOLUTION: In this three-dimensional position and attitude sensing device, the image of one code marker 5 of a plurality of code markers 5 photographed in an image photographic part 1 is analyzed, and the relative position and attitude relation between the code marker 5 and the image photographic part 1 is determined to determine the three-dimensional position and attitude relation between the object 4 and the image photographic part 1.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-90118

(P2002-90118A)

(43)公開日 平成14年3月27日 (2002.3.27)

(51)Int.Cl.

G 0 1 B 11/00
11/26
G 0 6 T 1/00

識別記号

3 1 5

F I

G 0 1 B 11/00
11/26
G 0 6 T 1/007-39-1^a(参考)H 2 F 0 6 5
H 5 B 0 5 7

3 1 6

審査請求 未請求 請求項の数13 O.L (全 13 頁)

(21)出願番号

特願2000-284318(P2000-284318)

(22)出願日

平成12年9月19日 (2000.9.19)

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号(72)発明者 赤塚 篤一郎
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内(72)発明者 齐藤 明人
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内(74)代理人 100058479
弁理士 鈴江 武彦 (外4名)

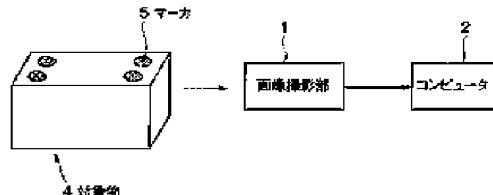
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 3次元位置姿勢センシング装置

(57)【要約】

【課題】対象物との位置姿勢関係が既知のマーカの撮影画像を解析して、当該マーカと撮影手段との相対的位置姿勢関係を求め当該対象物の位置及び姿勢を求める場合に、広い領域で測定可能な3次元位置姿勢センシング装置を提供する。

【解決手段】本発明は、画像撮影部1で撮影した複数のコードマーカからのうちの1つのコードマーカ5の画像を解析して、該コードマーカと上記画像撮影部1の相対的位置姿勢関係を求め、上記対象物4と上記画像撮影部1との3次元位置姿勢関係を求める3次元位置姿勢センシング装置に関する。



(2) 特開2002-90118

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】撮影装置で撮影した画像より、対象物と撮影装置の相対的な3次元位置姿勢関係を計測する装置であって、
上記対象物と3次元位置姿勢関係が既知のマーカとを上記撮影装置で撮影した画像を入力する画像入力手段と、
上記画像入力手段より入力された画像において、上記マーカを当該マーカの幾何学的特徴を用いて同定する同定手段と、
上記同定手段により同定された複数のマーカのうちの1つのマーカの画像を解析して、該マーカと上記撮影装置の相対的位置姿勢関係を求めて、上記対象物と上記撮影装置の3次元位置姿勢関係を求める、複数マーカによる位置姿勢検出手段と、上記單一マーカによる位置姿勢検出手段と上記複数マーカによる位置姿勢検出手段を併せて切換える切換手段と、肩に有することを特徴とする3次元位置姿勢センシング装置。

【請求項2】上記同定手段で同定された複数のマーカの画像上の位置に基づいて、該マーカと上記撮影装置の相対的な位置姿勢関係を求めて、上記対象物と上記撮影装置の3次元位置姿勢関係を求める、複数マーカによる位置姿勢検出手段と、上記單一マーカによる位置姿勢検出手段と上記複数マーカによる位置姿勢検出手段を併せて切換える切換手段と、肩に有することを特徴とする請求項1に記載の3次元位置姿勢センシング装置。

【請求項3】上記切換手段は、画像上のマーカの視野角に基づいて、上記單一マーカによる位置姿勢検出手段と上記複数のマーカによる位置姿勢検出手段を切換えることを特徴とする請求項2に記載の3次元位置姿勢センシング装置。

【請求項4】上記單一マーカによる位置姿勢検出手段は、上記1つのマーカの画像より複数の特徴部位を検出し、上記特徴部位の画像上の位置関係と上記特徴部位の実際のマーカ上の位置関係とを比較して、上記マーカと上記撮影装置の相対的位置姿勢関係を求めるものであることを特徴とする請求項1に記載の3次元位置姿勢センシング装置。

【請求項5】上記マーカの形状は4角形以上の多角形であり、上記單一マーカによる位置姿勢検出手段は、この多角形の頂点を上記特徴部位として検出することを特徴とする請求項4に記載の3次元位置姿勢センシング装置。

【請求項6】上記マーカは、当該マーカの大きさを表わす情報を含むことを特徴とする請求項1に記載の3次元位置姿勢センシング装置。

【請求項7】上記マーカは、当該マーカの場所の属性を表わす情報を含むことを特徴とする請求項1に記載の3次元位置姿勢センシング装置。

【請求項8】上記マーカは、自発光型材料で形成されていることを特徴とする請求項1に記載の3次元位置姿勢センシング装置。

【請求項9】上記自発光型材料が用いられたマーカ

2

は、非常災害時の緊急灯と同期して点灯することを特徴とする請求項8に記載の3次元位置姿勢センシング装置。

【請求項10】上記マーカは、入射光を反射して入射光路を逆進させる再帰性材料により形成されていることを特徴とする請求項1に記載の3次元位置姿勢センシング装置。

【請求項11】上記マーカは、蛍光材料で形成されていることを特徴とする請求項1に記載の3次元位置姿勢センシング装置。

【請求項12】上記マーカは、人間の目には不可視であることを特徴とする請求項1に記載の3次元位置姿勢センシング装置。

【請求項13】上記マーカは、投影機で投影されたものであることを特徴とする請求項1に記載の3次元位置姿勢センシング装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、画像撮影装置を利用して対象物を撮影し、当該対象物の相対的な3次元位置姿勢を計測する3次元位置姿勢センシング装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、所定形状の指標たるマーカを撮影した画像を解析することで、該マーカに対する画像入力手段の位置や姿勢を求める技術が知られている。

【0003】例えば、「VRインターフェースのための単眼による長方形マーカ位置・姿勢の高精度実時間推定方法」(3D Image Conference '96 予稿集 pp167-172高橋章、石井前夫、牧野秀夫、中野真 1996)には、位置座標が予め判っている長方形マーカを撮影して、当該長方形マーカの四隅の撮影画像上の位置から当該長方形マーカと撮影カメラの相対的位置姿勢関係を求め、該撮影カメラの位置及び姿勢を計算する技術が開示されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来技術では、カメラとマーカとが遠く離れている場合には、当該マーカの四隅の画像上の離間距離が小さくなり、検出精度が悪くなるという問題があり、ゆえに検出可能な範囲が限られていた。

【0005】これを回避するため、複数のマーカをカメラが撮影する可能性のある空間領域にある程度の密度で配置しておき、カメラの撮影範囲にあるマーカのうち、ある程度近い距離のマーカを使って、このカメラとマーカの相対的位置姿勢を求めるようにすることもできる。しかしながら、このように複数のマーカを用いた場合には、上述した従来技術のように単純な图形を用いた場合において、どのマーカに対しての相対的位置なのかを知ることが困難であった。

(3)

特開2002-90118

3

【0006】本発明は、上記問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、対象物との位置姿勢関係が既知のマーカを撮影した画像を解析して、当該マーカと撮影手段との相対的位置姿勢関係を求め、これをもって当該対象物の位置及び姿勢を求める場合に、比較的広い領域で測定可能な3次元位置姿勢センシング装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明の第1の態様では、撮影装置で撮影した画像より、対象物と撮影装置の相対的な3次元位置姿勢関係を計測する装置であって、上記対象物と3次元位置姿勢関係が既知のマーカとを上記撮影装置で撮影した画像を入力する画像入力手段と、上記画像入力手段より入力された画像において、上記マーカを当該マーカの幾何学的特徴を用いて同定する同定手段と、上記同定手段により同定された複数のマーカのうちの1つのマーカの画像を解析して、該マーカと上記撮影装置の相対的位置姿勢関係を求め、上記対象物と上記撮影装置との3次元位置姿勢関係を求める。單一マーカによる位置姿勢検出手段と、を有することを特徴とする3次元位置姿勢センシング装置が提供される。

【0008】第2の態様では、上記第1の態様において、上記同定手段で同定された複数のマーカの画像上の位置に基づいて、該マーカと上記撮影装置の相対的な位置姿勢関係を求めて、上記対象物と上記撮影装置の3次元位置姿勢関係を求める。複数マーカによる位置姿勢検出手段と、上記單一マーカによる位置姿勢検出手段と上記複数マーカによる位置姿勢検出手段を併一的に切換える切換手段と、を更に有することを特徴とする3次元位置姿勢センシング装置が提供される。

【0009】第3の態様では、上記第2の態様において、上記切換手段は、画像上のマーカの視野角に基づいて、上記單一マーカによる位置姿勢検出手段と上記複数のマーカによる位置姿勢検出手段を切換えることを特徴とする3次元位置姿勢センシング装置が提供される。

【0010】第4の態様では、上記第1の態様において、上記單一マーカによる位置姿勢検出手段は、上記1つのマーカの画像より複数の特徴部位を検出し、上記特徴部位の画像上でその位置関係と上記特徴部位の実際のマーカ上の位置関係とを比較して、上記マーカと上記撮影装置の相対的位置姿勢関係を求めるものであることを特徴とする3次元位置姿勢センシング装置が提供される。

【0011】第5の態様では、上記第4の態様において、上記マーカの形状は4角形以上の多角形であり、上記單一マーカによる位置姿勢検出手段は、この多角形の頂点を上記特徴部位として検出することを特徴とする3次元位置姿勢センシング装置が提供される。第6の態様では、上記第1の態様において、上記マーカは、当該マ

4

ーかの大きさを表わす情報を含むことを特徴とする3次元位置姿勢センシング装置が提供される。

【0012】第7の態様では、上記第1の態様において、上記マーカは、当該マーカの場所の属性を表わす情報を含むことを特徴とする3次元位置姿勢センシング装置が提供される。第8の態様では、上記第1の態様において、上記マーカは、自発光型材料で形成されていることを特徴とする3次元位置姿勢センシング装置が提供される。第9の態様では、上記第8の態様において、上記10自発光型材料が用いられたマーカは、非常災害時の緊急灯と同期して点灯することを特徴とする3次元位置姿勢センシング装置が提供される。

【0013】第10の態様では、上記第1の態様において、上記マーカは、入射光を反射して入射光路を逆走させる再帰性材料により形成されていることを特徴とする3次元位置姿勢センシング装置が提供される。第11の態様では、上記第1の態様において、上記マーカは、螢光材料で形成されていることを特徴とする3次元位置姿勢センシング装置が提供される。

【0014】上記第12の態様では、上記第1の態様において、上記マーカは、人間の目には不可視であることを特徴とする3次元位置姿勢センシング装置が提供される。上記第13の態様では、上記第1の態様において、上記マーカは、投影機で投影されたものであることを特徴とする3次元位置姿勢センシング装置が提供される。

【0015】上記第1乃至第13の態様によれば以下の作用が奏される。

【0016】即ち、本発明の第1の態様では、画像入力手段により上記対象物と3次元位置姿勢関係が既知のマーカとを撮影装置で撮影した画像が入力され、同定手段により上記画像入力手段より入力された画像において、上記マーカが当該マーカの幾何学的特徴を用いて同定され、單一マーカによる位置姿勢検出手段により上記同定手段により同定された複数のマーカのうちの1つのマーカの画像が解析されて、該マーカと上記撮影装置の相対的位置姿勢関係が求められ、上記対象物と上記撮影装置との3次元位置姿勢関係が求められる。

【0017】第2の態様では、上記第1の態様において、複数マーカによる位置姿勢検出手段により、上記同定手段で同定された複数のマーカの画像上の位置に基づいて、該マーカと上記撮影装置の相対的位置姿勢関係が求められて、上記対象物と上記撮影装置の3次元位置姿勢関係が求められ、切換手段により上記單一マーカによる位置姿勢検出手段と上記複数マーカによる位置姿勢検出手段とが併一的に切換えられる。

【0018】第3の態様では、上記第2の態様において、上記切換手段により、画像上のマーカの視野角に基づいて、上記單一マーカによる位置姿勢検出手段と上記複数のマーカによる位置姿勢検出手段が切換えられる。

【0019】第4の態様では、上記第1の態様におい

(4) 特開2002-90118

5

て、上記単一マーカによる位置姿勢検出手段により、上記1つのマーカの画像より複数の特徴部位が検出され、上記特徴部位の画像上の位置関係と上記特徴部位の実際のマーカ上の位置関係とが比較されて、上記マーカと上記撮影装置の相対的位置姿勢関係を求められる。

【0020】第5の態様では、上記第4の態様において、上記マーカは4角形以上の多角形で構成されており、上記単一マーカによる位置姿勢検出手段により、この多角形の頂点が上記特徴部位として検出される。

【0021】そして、第6の態様では、上記第1の態様において、上記マーカには、当該マーカの大きさを表わす情報を含められている。第7の態様では、上記第1の態様において、上記マーカには、当該マーカの場所の属性を表わす情報を含められている。第8の態様では、上記第1の態様において、上記マーカは、自発光型材料で形成されている。第9の態様では、上記第8の態様において、上記自発光型材料が用いられたマーカは、非常災害時の緊急灯と同期して点灯する。第10の態様では、上記第1の態様において、上記マーカは、入射光を反射して入射光路を遮断させる再帰性材料により形成されている。第11の態様では、上記第1の態様において、上記マーカは、蛍光材料で形成されている。

【0022】上記第12の態様では、上記第1の態様において、上記マーカは、人間の目には不可視である。上記第13の態様では、上記第1の態様において、上記マーカは、投影機で投影されたものである。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について説明する。

【0024】先ず、本発明の第1の実施の形態について説明する。

【0025】図1は本発明の第1の実施の形態に係る3次元位置姿勢センシング装置の構成を示す機能ブロック図である。以下、同図を参照して詳述する。

【0026】この図1に示されるように、3次元位置姿勢を推定すべき対象物4或いはその付近には、幾何学的に固有の特徴を持った複数の固有マーカ5（以下、コードマーカと称する）が配置されている。

【0027】そして、画像撮影部1は当該コードマーカ5を撮影し、その画像をコンピュータ2に転送する。上記画像撮影部1としては、一般的なTVMカメラやディジタルビデオカメラ等を採用することができる。また、上記画像撮影部1から転送された画像を受けるコンピュータ2としては、通常のパーソナルコンピュータや特殊な画像処理演算装置等を採用することができる。

【0028】上記画像撮影部1がTVMカメラでありアナログ信号を出力する場合には、上記コンピュータ2内には、当該アナログ信号をデジタル化する装置やユニットが含まれる。また、上記画像撮影部1がデジタルカメラやディジタルビデオカメラ等である場合には、ディ

ジタル信号をコンピュータ2に直接的に転送し、当該コンピュータ2にてデジタル信号を処理することになる。

【0029】このように、コンピュータ2が、画像撮影部1で撮影されたコードマーカ5に係る画像を受け、デジタル信号に変換し、該デジタル信号を処理することで画像内のコードマーカを認識し、該コードマーカ5の画像内位置と予め登録されているコードマーカ5の3次元位置とを利用して、対象物4の画像撮影部1に対する3次元位置姿勢を推定する。このコードマーカ5の3次元位置は、コンピュータ2内のメモリに予め格納されている。

【0030】さらに、図2に示されるように、カメラパラメータ検出部3を構成に取込めば、画像撮影部1たるカメラのレンズ焦点距離や歪曲などの情報を当該カメラパラメータ検出部3よりコンピュータ2に転送し、当該コンピュータ2において、これらの情報を加味した上で3次元位置姿勢の推定がされる。

【0031】先ず、少なくとも3個以上のコードマーカ5が同定できた場合において、対象物4の位置姿勢を推定する方法に関して解説する。

【0032】以下、画像と座標変換に関する基本的な扱いに関して説明する。

【0033】基本的に対象物4と画像撮影部1は、それぞれ固有の座標系を有しており、画像撮影部1が撮影する画像は、カメラ画像面として定義される。

【0034】図3は、上記カメラ画像面と画像撮影部1のカメラ座標系、及びオブジェクト座標系の関係を示した図である。

【0035】対象物4が規定するオブジェクト座標系はその原点をO_c、その3次元座標を（x_c、y_c、z_c）とする。一方、画像撮影部1が規定するカメラ座標系は、その原点をO_o、その3次元座標を（x_o、y_o、z_o）とする。

【0036】カメラ画像面は、その軸がu軸とv軸により構成され、u軸はカメラ座標系のx_c軸と平行に、v軸はy_c軸に平行に取られ、カメラ座標系を規定するz_c軸が画像撮影部1の光学系の光軸と一致し、その光軸とカメラ画像面が交わる点（カメラ画像面の中心）が、（u₀、v₀）で定義される。

【0037】画像撮影部1に相対する対象物の3次元位置姿勢を推定する問題は、カメラ座標系に対するオブジェクト座標系の位置姿勢を推定する問題、換言すれば、オブジェクト座標系からカメラ座標系への座標変換パラメータ、又はカメラ座標系からオブジェクト座標系への座標変換パラメータを算出する問題に帰着される。

【0038】これを数学的に記述すると、齊次変換行列cH_m又はmH_cを利用して、

【0039】

【数1】

$$\begin{aligned}
 & \text{(5)} \\
 \begin{bmatrix} x_e \\ y_e \\ z_e \\ 1 \end{bmatrix} & = c H_m \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \\ 1 \end{bmatrix} \\
 & \text{(1)} \\
 \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \\ 1 \end{bmatrix} & = s_i H_e \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R' & t' \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & r'_{13} & t'_x \\ r'_{21} & r'_{22} & r'_{23} & t'_y \\ r'_{31} & r'_{32} & r'_{33} & t'_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix} \\
 & \text{(2)}
 \end{aligned}$$

特開2002-90118

8

【0040】と定義することができる。ここに、 $R = (r_{ij})$ 、 $R' = (r'_{ij})$ は 3×3 の回転行列を示し、 $t = (t_x, t_y, t_z)$ 、 $t' = (t'_x, t'_y, t'_z)$ は3次元並進ベクトルを示している。

【0041】以下に詳述するマーカ群($M_i : i = 1, 2, \dots, m$)は、予めオブジェクト座標系での3次元位置が計測されており、それらを (x_i^*, y_i^*, z_i^*) で*

$$\begin{bmatrix} U_i \\ V_i \\ W_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_u & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & \alpha_v & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} c H_m \begin{bmatrix} x_i^* \\ y_i^* \\ z_i^* \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$u_i = \frac{U_i}{W_i} \quad v_i = \frac{V_i}{W_i} \quad (4)$$

【0044】ここに、 (u_0, v_0) は画像内の中心、 (α_u, α_v) はu方向とv方向の拡大率を表し、画像撮影部1に関するカメラ内部パラメータであり、カメラキャリブレーションにより確定できる値である。

【0045】以下、図7のフローチャートを参照して、コンピュータ2が画像を入力した後に、対象物4の3次元位置姿勢を推定する動作の流れを説明する。

【0046】先ず、画像を受け取ったコンピュータ2は、その画像の中からコードマーカ5に対応する領域と推定される候補領域を抽出する(ステップS1)。

【0047】続いて、このステップS1にて抽出された候補領域内を詳細に解析し、その中からコードマーカ5のコードに対応する幾何学的特徴を抽出し、そのコードが認識された場合には、その領域をマーカ領域として、その画像内位置とコードとを登録する(ステップS2)。そして、この登録された画像から抽出されたコードマーカ5の画像内2次元位置と対象物に相対する3次元位置とを利用することで画像撮影部1に対応する対象物の位置を算出する(ステップS3)。

【0048】以下、図7の上記ステップS1乃至S3について更に詳述する。

【0049】(ステップS1)第1の実施の形態では、画像撮影部1がカラー画像を生成するものとして、コードマーカ5としては、図4乃至図6に示したものと想定する。

* 表現する。また、その画像内位置を (u_i, v_i) で記述する。

【0042】すると、画像撮影部1をピンホールカメラモデルで近似したとき、それらの座標間には、以下の関係が成立する。

【0043】

【数2】

【0050】コードマーカ5の外枠は単色から成立しているので、その単色に敏感な色フィルタをアルゴリズム内に導入する。

【0051】具体的には、画像面 (u, v) で定義される画像点に関して、カラー画像を構成するフィルタの計測値R(赤)、G(緑)、B(青)から、

$$i = (R + G + B) / 3$$

$$r = R / (R + G + B)$$

$$g = G / (R + G + B)$$

に対応する3個のベクトルを算出する。

【0052】そして、コードマーカ5が取り得る画像内の色パターンの許容値が、

$$i_{min} < i < i_{max}$$

$$r_{min} < r < r_{max}$$

$$g_{min} < g < g_{max}$$

を満たす画像領域を抽出する。ここで、 $i_{min}, i_{max}, r_{min}, r_{max}, g_{min}, g_{max}$ 等の値は、予め設定しておく。

【0053】次いで、画像領域内の穴埋めを行うことにより、コードマーカ5に対応する領域を決定する。

【0054】(ステップS2)次に抽出された領域がマーカの像であるかを判定する。

【0055】例えば、パターンマッチングを用い、予め登録しておいたマーカ像と比較を行うことでマーカの判定ができる。

(6)

特開2002-90118

9

【0056】(ステップS3) 上記ステップ2で同定されたコードマーカ5の画像内位置(u_i, v_i) ($i = 1, 2, 3, \dots$)とオブジェクト座標系における3次元マーカ位置(x_i^m, y_i^m, z_i^m)が与えられたとき、いかにして先に示した式(3)で定義される齊次変換行列 cH_m を算出するか、本ステップ4の課題である。

【0057】これは基本的に文献(M.A.Fischler and R.C.Bolles, "Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," Communications of the ACM, Vol.24, No.6, June 1981, pp.381-395)で示される方法を以下の如く変更しながら行う。

【0058】この文献で紹介されている方法では、同定されたマーカ群の中から一直線上にない任意の3個のマーカを選択し、その3個のコードマーカを利用してカメラ座標系とオブジェクト座標系間の座標変換パラメータ群の候補を算出する。

【0059】しかしながら、その座標変換パラメータとしては、最大4種類の候補が存在することが判っているので、その4種類の各候補に対して、選択されなかったマーカ群を利用して解の検証を行うことにより、解の絞り込みを行うと共に、その解を初期値として、全てのコードマーカを利用して解の更新を行うものである。

【0060】以下、その方法に関して簡単に説明する。

【0061】同定されたマーカ群の中から、ある選択基準に従って画像内で一直線上にない3個のコードマーカを選択する。この選択基準としては、カメラ画像面で3個のコードマーカを頂点とする3角形の面積が最大となる3個のコードマーカを選択する方法やカメラ画像面で3個のコードマーカを頂点とする3角形の面積が最小となる3個のマーカを選択する方法等が考えられる。

【0062】このようにして得られたコードマーカを M_i ($i = 1, 2, 3$)とする。

【0063】次に、これら3個のコードマーカ M_i (そのモデル座標系における3次元位置を P_i (x_i^m, y_i^m, z_i^m)、画像内位置を Q_i (u_i, v_i)とする)に関して、図8に示されるような3個の3角形 $\triangle O_c M_i M_j$ ($i, j = 1, 2, 3; i \neq j$ は等しくない)を考える。

【0064】これらの3個の3角形に関して、カメラ画面上ベクトル $(\tilde{u}_i, \tilde{v}_i)$ と $(\tilde{u}_j, \tilde{v}_j)$ のなす角度が θ_{ij} であるので、

$$\cos \theta_{ij} = \frac{\tilde{u}_i \tilde{u}_j + \tilde{v}_i \tilde{v}_j + 1}{\sqrt{\tilde{u}_i^2 + \tilde{v}_i^2 + 1} \sqrt{\tilde{u}_j^2 + \tilde{v}_j^2 + 1}} = \frac{\frac{u_i - u_0}{\alpha_u} \frac{u_j - u_0}{\alpha_u} + \frac{v_i - v_0}{\alpha_v} \frac{v_j - v_0}{\alpha_v} + 1}{\sqrt{\left(\frac{u_i - u_0}{\alpha_u}\right)^2 + \left(\frac{v_i - v_0}{\alpha_v}\right)^2 + 1} \sqrt{\left(\frac{u_j - u_0}{\alpha_u}\right)^2 + \left(\frac{v_j - v_0}{\alpha_v}\right)^2 + 1}}$$

【0077】が成立する。

【0078】このようにして、3個の角度をその余弦より算出することができる。

10

*像径の原点 O_c から各マーカ M_i までの距離を d_i とし、マーカ M_i, M_j とカメラ座標系原点 O_c がなす角度 θ_{ij} とする。また、マーカ M_i, M_j 間の距離を R_{ij} とする。

【0065】このとき、距離 R_{12}, R_{23}, R_{31} と角度 $\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{31}$ は既知の値となるが、 d_1, d_2, d_3 は未知の値となる。逆に言えば、距離 d_1, d_2, d_3 を算出することができれば、オブジェクト座標系からカメラ座標系への座標変換パラメータを算出することができる。

【0066】以下、この点に関して解説する。

【0067】(1) 距離 R_{12}, R_{23}, R_{31} の算出方法 R_{12} は点 P_1 と点 P_2 間のユークリッド距離として算出される。同様に、 R_{23}, R_{31} はそれぞれ、点 P_2 と P_3 、点 P_3 と P_1 間のユークリッド距離として算出される。

【0068】(2) 角度 $\theta_{12}, \theta_{23}, \theta_{31}$ の算出方法マーカ M_1, M_2 とカメラ座標系の原点 O_c がなす角度 θ_{ij} は以下のように算出することができる。

【0069】先ず、

【0070】

【数3】

$$(\tilde{u}_i, \tilde{v}_i)$$

【0071】を (u_i, v_i) の正規化された座標値とすると、

【0072】

【数4】

$$\tilde{u}_i = \frac{u_i - u_0}{\alpha_u} \quad \tilde{v}_i = \frac{v_i - v_0}{\alpha_v}$$

【0073】が成立する。この正規化された画像点

【0074】

【数5】

$$(\tilde{u}_j, \tilde{v}_j)$$

【0075】は、カメラ座標系で $z_c = 1$ に対応する (x_c, y_c) に対応することから、

【0076】

【数6】

【0079】

(3) 距離 d_i ($i = 1, 2, 3$) の算出方法

50 3角形の $O_c M_1 M_2, O_c M_2 M_3, O_c M_3 M_1$ に

(7)

特開2002-90118

11

対して第2余弦定理を適用すれば、

$$R_{12} = d_1^2 + d_2^2 - 2 d_1 d_2 \cos \theta_{12}$$

$$R_{23} = d_2^2 + d_3^2 - 2 d_2 d_3 \cos \theta_{23}$$

$$R_{31} = d_3^2 + d_1^2 - 2 d_3 d_1 \cos \theta_{31}$$

が導かれる。

【0080】これら3式において、未知数は d_1 、 d_2 、 d_3 の3個であり、制約式も3個であるので、理論的には上式を満たす解 $\{ (d_1(k), d_2(k), d_3(k)) \} : k = 1, 2, 3, 4 \}$ が存在する。

【0081】その解法に関しては、文献 (M.A.Fischler and R.C.Bolles, "Random sample consensus : A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," Communications of the ACM, Vol.24, No.6, June 1981, pp.381-395) で詳しく述べられているように、この方程式には最大4個の解が存在することが分かっており、その解が4*

が成立し、

$(\tilde{u}_i, \tilde{v}_i, 1)$ と (x_i^c, y_i^c, z_i^c) は平行であるから、

$$d_i = \sqrt{(x_i^c)^2 + (y_i^c)^2 + (z_i^c)^2} \quad D_i = \sqrt{\tilde{u}_i^2 + \tilde{v}_i^2 + 1}$$

が成立し、

$$x_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{u}_i \quad y_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{v}_i \quad z_i^c = \frac{d_i}{D_i}$$

【0087】と書くことができる。

【0088】いま、オブジェクト座標系でのマーカ位置を (x_i^m, y_i^m, z_i^m) とすれば、オブジェクト座標系 O_m からカメラ座標系 O_c への変換は、

【0089】

【数8】

$$\begin{bmatrix} x_i^c \\ y_i^c \\ z_i^c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_i^m \\ y_i^m \\ z_i^m \end{bmatrix} + t$$

【0090】と書かれる。

【0091】ここに R は回転行列を表し、 t は並進ベクトルを表す。

【0092】いま、両座標系でのマーカ群の重心ベクトルを $[x_{mean}^c, y_{mean}^c, z_{mean}^c]^T$ 、 $[x_{mean}^m, y_{mean}^m, z_{mean}^m]^T$ とすると、

【0093】

【数9】

(7)

12

* 次方程式の解として数値解析的に解くことが可能である。

【0082】

(4) 解 (d_1, d_2, d_3) の検証と最適解の選択
基本的には、最大4個の解の中で1個だけが正しい解を与えるものである。

【0083】上記の解の中でどの解が正しいかを検証するのが、本段階である。

【0084】各解 (d_1, d_2, d_3) について、カメラ座標系 C でのマーカ位置 (x_i^c, y_i^c, z_i^c) を算出する方法について解説する。

【0085】カメラ座標系原点 C からマーカまでの距離が d_i であり、その画像内位置 (u_i, v_i) であり、

【0086】

【数7】

$(\tilde{u}_i, \tilde{v}_i, 1)$ と (x_i^c, y_i^c, z_i^c) は平行であるから、

$$d_i = \sqrt{(x_i^c)^2 + (y_i^c)^2 + (z_i^c)^2} \quad D_i = \sqrt{\tilde{u}_i^2 + \tilde{v}_i^2 + 1}$$

が成立し、

$$x_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{u}_i \quad y_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{v}_i \quad z_i^c = \frac{d_i}{D_i}$$

【0087】と書くことができる。

【0088】いま、オブジェクト座標系でのマーカ位置を (x_i^m, y_i^m, z_i^m) とすれば、オブジェクト座標系 O_m からカメラ座標系 O_c への変換は、

【0089】

【数8】

$$\begin{bmatrix} x_i^c \\ y_i^c \\ z_i^c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_i^m \\ y_i^m \\ z_i^m \end{bmatrix} + t$$

【0090】と書かれる。

【0091】ここに R は回転行列を表し、 t は並進ベクトルを表す。

【0092】いま、両座標系でのマーカ群の重心ベクトルを $[x_{mean}^c, y_{mean}^c, z_{mean}^c]^T$ 、 $[x_{mean}^m, y_{mean}^m, z_{mean}^m]^T$ とすると、

【0093】

【数9】

$(\tilde{u}_i, \tilde{v}_i, 1)$ と (x_i^c, y_i^c, z_i^c) は平行であるから、

$$d_i = \sqrt{(x_i^c)^2 + (y_i^c)^2 + (z_i^c)^2} \quad D_i = \sqrt{\tilde{u}_i^2 + \tilde{v}_i^2 + 1}$$

が成立し、

$$x_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{u}_i \quad y_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{v}_i \quad z_i^c = \frac{d_i}{D_i}$$

【0087】と書くことができる。

【0088】いま、オブジェクト座標系でのマーカ位置を (x_i^m, y_i^m, z_i^m) とすれば、オブジェクト座標系 O_m からカメラ座標系 O_c への変換は、

【0089】

【数8】

$$\begin{bmatrix} x_i^c \\ y_i^c \\ z_i^c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_i^m \\ y_i^m \\ z_i^m \end{bmatrix} + t$$

【0090】と書かれる。

【0091】ここに R は回転行列を表し、 t は並進ベクトルを表す。

【0092】いま、両座標系でのマーカ群の重心ベクトルを $[x_{mean}^c, y_{mean}^c, z_{mean}^c]^T$ 、 $[x_{mean}^m, y_{mean}^m, z_{mean}^m]^T$ とすると、

【0093】

【数9】

$(\tilde{u}_i, \tilde{v}_i, 1)$ と (x_i^c, y_i^c, z_i^c) は平行であるから、

$$d_i = \sqrt{(x_i^c)^2 + (y_i^c)^2 + (z_i^c)^2} \quad D_i = \sqrt{\tilde{u}_i^2 + \tilde{v}_i^2 + 1}$$

が成立し、

$$x_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{u}_i \quad y_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{v}_i \quad z_i^c = \frac{d_i}{D_i}$$

【0087】と書くことができる。

【0088】いま、オブジェクト座標系でのマーカ位置を (x_i^m, y_i^m, z_i^m) とすれば、オブジェクト座標系 O_m からカメラ座標系 O_c への変換は、

【0089】

【数8】

$$\begin{bmatrix} x_i^c \\ y_i^c \\ z_i^c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_i^m \\ y_i^m \\ z_i^m \end{bmatrix} + t$$

【0090】と書かれる。

【0091】ここに R は回転行列を表し、 t は並進ベクトルを表す。

【0092】いま、両座標系でのマーカ群の重心ベクトルを $[x_{mean}^c, y_{mean}^c, z_{mean}^c]^T$ 、 $[x_{mean}^m, y_{mean}^m, z_{mean}^m]^T$ とすると、

【0093】

【数9】

$(\tilde{u}_i, \tilde{v}_i, 1)$ と (x_i^c, y_i^c, z_i^c) は平行であるから、

$$d_i = \sqrt{(x_i^c)^2 + (y_i^c)^2 + (z_i^c)^2} \quad D_i = \sqrt{\tilde{u}_i^2 + \tilde{v}_i^2 + 1}$$

が成立し、

$$x_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{u}_i \quad y_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{v}_i \quad z_i^c = \frac{d_i}{D_i}$$

【0087】と書くことができる。

【0088】いま、オブジェクト座標系でのマーカ位置を (x_i^m, y_i^m, z_i^m) とすれば、オブジェクト座標系 O_m からカメラ座標系 O_c への変換は、

【0089】

【数8】

$$\begin{bmatrix} x_i^c \\ y_i^c \\ z_i^c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_i^m \\ y_i^m \\ z_i^m \end{bmatrix} + t$$

【0090】と書かれる。

【0091】ここに R は回転行列を表し、 t は並進ベクトルを表す。

【0092】いま、両座標系でのマーカ群の重心ベクトルを $[x_{mean}^c, y_{mean}^c, z_{mean}^c]^T$ 、 $[x_{mean}^m, y_{mean}^m, z_{mean}^m]^T$ とすると、

【0093】

【数9】

$(\tilde{u}_i, \tilde{v}_i, 1)$ と (x_i^c, y_i^c, z_i^c) は平行であるから、

$$d_i = \sqrt{(x_i^c)^2 + (y_i^c)^2 + (z_i^c)^2} \quad D_i = \sqrt{\tilde{u}_i^2 + \tilde{v}_i^2 + 1}$$

が成立し、

$$x_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{u}_i \quad y_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{v}_i \quad z_i^c = \frac{d_i}{D_i}$$

【0087】と書くことができる。

【0088】いま、オブジェクト座標系でのマーカ位置を (x_i^m, y_i^m, z_i^m) とすれば、オブジェクト座標系 O_m からカメラ座標系 O_c への変換は、

【0089】

【数8】

$$\begin{bmatrix} x_i^c \\ y_i^c \\ z_i^c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_i^m \\ y_i^m \\ z_i^m \end{bmatrix} + t$$

【0090】と書かれる。

【0091】ここに R は回転行列を表し、 t は並進ベクトルを表す。

【0092】いま、両座標系でのマーカ群の重心ベクトルを $[x_{mean}^c, y_{mean}^c, z_{mean}^c]^T$ 、 $[x_{mean}^m, y_{mean}^m, z_{mean}^m]^T$ とすると、

【0093】

【数9】

$(\tilde{u}_i, \tilde{v}_i, 1)$ と (x_i^c, y_i^c, z_i^c) は平行であるから、

$$d_i = \sqrt{(x_i^c)^2 + (y_i^c)^2 + (z_i^c)^2} \quad D_i = \sqrt{\tilde{u}_i^2 + \tilde{v}_i^2 + 1}$$

が成立し、

$$x_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{u}_i \quad y_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{v}_i \quad z_i^c = \frac{d_i}{D_i}$$

【0087】と書くことができる。

【0088】いま、オブジェクト座標系でのマーカ位置を (x_i^m, y_i^m, z_i^m) とすれば、オブジェクト座標系 O_m からカメラ座標系 O_c への変換は、

【0089】

【数8】

$$\begin{bmatrix} x_i^c \\ y_i^c \\ z_i^c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_i^m \\ y_i^m \\ z_i^m \end{bmatrix} + t$$

【0090】と書かれる。

【0091】ここに R は回転行列を表し、 t は並進ベクトルを表す。

【0092】いま、両座標系でのマーカ群の重心ベクトルを $[x_{mean}^c, y_{mean}^c, z_{mean}^c]^T$ 、 $[x_{mean}^m, y_{mean}^m, z_{mean}^m]^T$ とすると、

【0093】

【数9】

$(\tilde{u}_i, \tilde{v}_i, 1)$ と (x_i^c, y_i^c, z_i^c) は平行であるから、

$$d_i = \sqrt{(x_i^c)^2 + (y_i^c)^2 + (z_i^c)^2} \quad D_i = \sqrt{\tilde{u}_i^2 + \tilde{v}_i^2 + 1}$$

が成立し、

$$x_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{u}_i \quad y_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{v}_i \quad z_i^c = \frac{d_i}{D_i}$$

【0087】と書くことができる。

【0088】いま、オブジェクト座標系でのマーカ位置を (x_i^m, y_i^m, z_i^m) とすれば、オブジェクト座標系 O_m からカメラ座標系 O_c への変換は、

【0089】

【数8】

$$\begin{bmatrix} x_i^c \\ y_i^c \\ z_i^c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_i^m \\ y_i^m \\ z_i^m \end{bmatrix} + t$$

【0090】と書かれる。

【0091】ここに R は回転行列を表し、 t は並進ベクトルを表す。

【0092】いま、両座標系でのマーカ群の重心ベクトルを $[x_{mean}^c, y_{mean}^c, z_{mean}^c]^T$ 、 $[x_{mean}^m, y_{mean}^m, z_{mean}^m]^T$ とすると、

【0093】

【数9】

$(\tilde{u}_i, \tilde{v}_i, 1)$ と (x_i^c, y_i^c, z_i^c) は平行であるから、

$$d_i = \sqrt{(x_i^c)^2 + (y_i^c)^2 + (z_i^c)^2} \quad D_i = \sqrt{\tilde{u}_i^2 + \tilde{v}_i^2 + 1}$$

が成立し、

$$x_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{u}_i \quad y_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{v}_i \quad z_i^c = \frac{d_i}{D_i}$$

【0087】と書くことができる。

【0088】いま、オブジェクト座標系でのマーカ位置を (x_i^m, y_i^m, z_i^m) とすれば、オブジェクト座標系 O_m からカメラ座標系 O_c への変換は、

【0089】

【数8】

$$\begin{bmatrix} x_i^c \\ y_i^c \\ z_i^c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_i^m \\ y_i^m \\ z_i^m \end{bmatrix} + t$$

【0090】と書かれる。

【0091】ここに R は回転行列を表し、 t は並進ベクトルを表す。

【0092】いま、両座標系でのマーカ群の重心ベクトルを $[x_{mean}^c, y_{mean}^c, z_{mean}^c]^T$ 、 $[x_{mean}^m, y_{mean}^m, z_{mean}^m]^T$ とすると、

【0093】

【数9】

$(\tilde{u}_i, \tilde{v}_i, 1)$ と (x_i^c, y_i^c, z_i^c) は平行であるから、

$$d_i = \sqrt{(x_i^c)^2 + (y_i^c)^2 + (z_i^c)^2} \quad D_i = \sqrt{\tilde{u}_i^2 + \tilde{v}_i^2 + 1}$$

が成立し、

$$x_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{u}_i \quad y_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{v}_i \quad z_i^c = \frac{d_i}{D_i}$$

【0087】と書くことができる。

【0088】いま、オブジェクト座標系でのマーカ位置を (x_i^m, y_i^m, z_i^m) とすれば、オブジェクト座標系 O_m からカメラ座標系 O_c への変換は、

【0089】

【数8】

$$\begin{bmatrix} x_i^c \\ y_i^c \\ z_i^c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_i^m \\ y_i^m \\ z_i^m \end{bmatrix} + t$$

【0090】と書かれる。

【0091】ここに R は回転行列を表し、 t は並進ベクトルを表す。

【0092】いま、両座標系でのマーカ群の重心ベクトルを $[x_{mean}^c, y_{mean}^c, z_{mean}^c]^T$ 、 $[x_{mean}^m, y_{mean}^m, z_{mean}^m]^T$ とすると、

【0093】

【数9】

$(\tilde{u}_i, \tilde{v}_i, 1)$ と (x_i^c, y_i^c, z_i^c) は平行であるから、

$$d_i = \sqrt{(x_i^c)^2 + (y_i^c)^2 + (z_i^c)^2} \quad D_i = \sqrt{\tilde{u}_i^2 + \tilde{v}_i^2 + 1}$$

が成立し、

$$x_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{u}_i \quad y_i^c = \frac{d_i}{D_i} \tilde{v}_i \quad z_i^c = \frac{d_i}{D_i}$$

【0087】と書くことができる。

(8)

13

【0098】各齊次変換行列 $cH_m(k)$ ($k = 1, 2, 3, 4$) に対して、解として最もふさわしい解を、これら M_4, M_5, \dots, M_m を利用して決定する方法を説明する。

【0099】①各解 $cH_m(k)$ に対する評価関数 $dist(k)$ を最小にする k を、以下のステップで算出する。

【0100】②各解 $cH_m(k)$ ($k = 1, 2, 3, 4$) に関する以下のように $dist(k)$ を算出する。

【0101】a) $dist(k) := 0$ と評価関数を初期化す *

$$\begin{bmatrix} U'_j \\ V'_j \\ W'_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_u & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & \alpha_v & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} cH_m(k) \begin{bmatrix} x_j^m \\ y_j^m \\ z_j^m \\ 1 \end{bmatrix}, \quad u'_j = \frac{U'_j}{W'_j}, \quad v'_j = \frac{V'_j}{W'_j}$$

【0104】により算出することができる。

【0105】続いて、マーカ M_1 の実際に画像内で測定された2次元位置 (u_1, v_1) と投影画像点 (u'_1, v'_1) との2乗誤差 e_1 を算出する。

特開2002-90118

14

＊

【0102】b) 同定されたが最初の3個に選択されなかったマーカ M_j ($j = 4, 5, \dots, m$) について、そのオブジェクト座標系における3次元位置 (x^m, y^m, z^m) を $cH_m(k)$ を利用してカメラ画像面に変換する。その投影画像点を (u'_j, v'_j) とする。これは、

【0103】

【数10】

※ 【0106】 e_1 は以下のように算出できる。

【0107】

【数11】

＊

$$e_1 = (u'_1 - u_1)^2 + (v'_1 - v_1)^2$$

そして

$$dist(k) = \sum_{j=1}^m e_j = \sum_{j=1}^m \{(u'_j - u_j)^2 + (v'_j - v_j)^2\}$$

【0108】③ $dist(k)$ が最小となる齊次変換行列の解 $cH_m(k)$ を選択する。

【0109】要約すると、上記のステップで求められる最適解 $cH_m(k)$ は、コードマーカ M_1, M_2, M_3 から生成される解のうち、他のマーカ M_4, M_5, \dots, M_m が最も支持する解を選択するものである。

【0110】(5) 解の更新

上記(4)で選択された解 $cH_m(k)$ は、コードマーカ M_1, M_2, M_3 から推定されたものであり、他のマーカ M_4, M_5, \dots, M_m に対する測定値を利用したものではない。本ステップでは、上記(4)で算出された解 cH_m

$$cH_m = \begin{bmatrix} \cos\Phi_x \cos\Phi_y & \cos\Phi_x \sin\Phi_y \sin\Phi_z - \sin\Phi_x \cos\Phi_z & \cos\Phi_x \sin\Phi_y \cos\Phi_z + \sin\Phi_x \sin\Phi_z & t_x \\ \sin\Phi_x \cos\Phi_y & \sin\Phi_x \sin\Phi_y \sin\Phi_z + \cos\Phi_x \cos\Phi_z & \cos\Phi_x \sin\Phi_y \cos\Phi_z - \cos\Phi_x \sin\Phi_z & t_y \\ -\sin\Phi_y & \cos\Phi_y \sin\Phi_z & \cos\Phi_y \cos\Phi_z & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$cH_m^{(0)} = \begin{bmatrix} \overset{(0)}{\cos\Phi_x \cos\Phi_y} & \overset{(0)}{\cos\Phi_x \sin\Phi_y \sin\Phi_z} & \overset{(0)}{\sin\Phi_x \cos\Phi_z} & \overset{(0)}{t_x} \\ \overset{(0)}{\sin\Phi_x \cos\Phi_y} & \overset{(0)}{\sin\Phi_x \sin\Phi_y \sin\Phi_z} & \overset{(0)}{\cos\Phi_x \cos\Phi_z} & \overset{(0)}{t_y} \\ \overset{(0)}{-\sin\Phi_y} & \overset{(0)}{\cos\Phi_y \sin\Phi_z} & \overset{(0)}{\cos\Phi_y \cos\Phi_z} & \overset{(0)}{t_z} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

【0113】により定義される。

【0114】これをオブジェクト座標系でのマーカ3次元位置 (x^m, y^m, z^m) と、そのカメラ画像面での位置 (u_1, v_1) の関係を利用してしながら、6次元位置姿

勢パラメータ $p = (\phi_x, \phi_y, \phi_z; t_x, t_y, t_z)$ を更新することを考える。

【0115】オブジェクト座標系でのマーカ3次元位置

(x^m, y^m, z^m) と、そのカメラ画像面での位置

(9)

特開2002-90118

15

(u_i, v_i)の関係は、

【0116】

【数13】

$$\begin{bmatrix} U_i \\ V_i \\ W_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_u & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & \alpha_u & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} eH_m \begin{bmatrix} x_i^m \\ y_i^m \\ z_i^m \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$U_i = \frac{U_i}{W_i}, \quad V_i = \frac{V_i}{W_i}$$

【0117】により与えられる。この式を整理すると、各マークM_i (i = 1, 2, ..., m)に関して。

【0118】

【数14】

$$f_i(p; x_i^m, y_i^m, z_i^m; u_i, v_i) = \begin{bmatrix} f_i^1(p; x_i^m, y_i^m, z_i^m; u_i, v_i) \\ f_i^2(p; x_i^m, y_i^m, z_i^m; u_i, v_i) \end{bmatrix} = 0$$

【0119】なる2次制約式によって表現され、6次元パラメータの初期推定値 p⁽⁰⁾ = (φx⁽⁰⁾, φy⁽⁰⁾, φz⁽⁰⁾; tx⁽⁰⁾, ty⁽⁰⁾, tz⁽⁰⁾) を用いて、6次元パラメータ p = (φx, φy, φz; tx, ty, tz) を推定する問題となる。

【0120】この問題はよく知られた非線形方程式問題であり、多くの著者がその解法を紹介しているので、ここではその詳細を述べない。

【0121】このようにして6次元パラメータは、全てのマークの測定値を利用して更新され、オブジェクト座標系からカメラ座標系への座標変換パラメータが算出される。すなわち、対象物4と画像撮影部1との間の位置関係を算出することができる。

【0122】以上説明したように、第1の実施の形態によれば、マーク群の一部が遮蔽されて検出できなかった場合でも、検出されたマークだけから対象物4と画像撮影部1との間の3次元位置関係を算出することができる。

【0123】また、マークの検出に際しては、マーク固有のコードを利用するにより、マーク同定の信頼性が従来例に比べて極度に向上させることができるので、より安定な位置姿勢計測を実現することができる。

【0124】前述のように、マークの検出に際しては、最低3個を検出する必要があるが、4個以上検出されれば、更に信頼性が高くなる。

【0125】ここで、先にも述べたように、図4乃至図6は、幾何学的特徴を持ったコードマーク5の一例を表したものである。

【0126】各コードマーク5は幾何学的特徴を有しており、それがコードマーク5にラベルを付加するに足るコードを生成できる点は重要である。

【0127】図4は1つのマーク画像を解析して4点の特徴点を認識する場合に好適なコードマークの形状を示

(9)

16

しており、図4(a), (b)は正方形、図4(c)は台形、図4(d)はコの字形、図4(e), (f)は円形、図4(g)は星型のコードマークの構成例を示している。

【0128】すなわち、1つのマークを解析することで、前出のコードマーク4つの代替となる4つの位置の既知な特徴点の情報を得ることができるわけである。

【0129】図4(a)のコードマークでは、マークの検出は外枠内外の色を変え、その違いを検出することで行い、外枠を微分、細線化などすることでその4隅を位置の既知な特徴点として認識する。

【0130】さらに、向きは下側の横線(外枠内側)を検出することで認識し、情報は外枠内部の8点(中央の1点は位置認識用)を検出することで取得する。チェックデジットについては、外枠内側左右の2点(2点→2bit)を用いる。

【0131】図4(h)はコードマーク(図4(a))の特徴点が検出された様子を示す。外枠の左下端のオブジェクト座標における座標値を(u1, v1)、更に右下端、右上端、左上端の順にそれぞれ(u2, v2), (u3, v3), (u4, v4)とする。これら4つの座標値を前出の説明における地からM4に当てはめ、対象物の位置姿勢の認識が可能になる。

【0132】図4(i)のコードマークでは、特徴点検出は外枠内側四隅にある4点の検出により表現される以外は図4(a)と同様である。この他、図4(c), (d)のコードマークについても、基本的には図4(a), (b)と同様である。

【0133】図4(e)のコードマークでは、マーク検出は外枠内外の色を変え、その違いを検出することで行い、4点検出については、外枠の内側四隅にある4点の検出により表現する。さらに、向きは下側の横線(外枠内側)を検出することで認識し、情報は外枠内部の8点(中央の1点は位置認識用)を検出することで取得する。また、チェックデジットについては、外枠内側左右の2点(2点→2bit)を用いる。図4(f)のコードマークでは、4点検出を外枠外側四隅にある4点の検出により実現する以外は図4(e)と同様である。この他、図4(g)のコードマークについても、図4(a)乃至(f)と同様である。

【0134】図5は8bitの情報を格納する外枠内部のコードの形状のバリエーションを示したものである。すなわち、図5(a)は円形のコード、図5(b)は三角形のコード、図5(c), (d)は四角形のコード、図5(e)は文字コード、図5(f)は線形コード、図5(g)は渦巻き状のコード、により8bitの情報が格納される。但し、これらの形状に限定されることは勿論である。

【0135】図6は斜め方向から撮影された場合にも、認識率が高い例としてシンメトリー/立体マーク(半

(10)

特開2002-90118

17

球、ピラミット形状)の例を示している。図6(a)は斜視図であり、図6(b)は上面図、図6(c)は側面図である。

【0136】以上によりマークが複数あり、その中の單一のマークを解析することにより位置姿勢が検出できる。

【0137】マークの種類を、複数用意しておくことにより、例えばマークの大きさなどのマークの種類、建物の部屋番号や部屋、廊下、階段などの場所の属性を表わす情報、として用いることができる。また、マークをしEDやしCDなど自発光型材料で構成することにより、その自発光型材料を制御することや、投影機によりマークを必要に応じて投影することによりすれば、静的ではなく場合に応じて変更ができる動的なマークを構築することができる。更に、これら自発光型材料が非常災害時の緊急灯と同期し、災害発生時に点灯するようにしておけば、災害時の自動誘導灯として用いることが可能になる。

【0138】道路などでコーナーキューブとして使われているような再帰性材料で構築すれば、撮影装置に取り付けた僅かな光源を利用して動作ができる。

【0139】蛍光材料によりマークを構成すれば、照明などが無い状態でも動作することができる。更に、撮影装置には感度のある赤外や紫外の波長でマークを構築すれば、人間の目には不可視な状態で景観を損なわずに動作が可能になる。

【0140】次に第2の実施の形態について説明する。

【0141】前述した第1の実施の形態に係る3次元位置姿勢センシング装置では、複数のマークの内の1つのマークを解析したが、第2の実施の形態では、複数または単数のマークによる位置姿勢センシングを切り換える手段を備える。

【0142】図9は第2の実施の形態を説明する図で、解析するマーク数の切り替え手段21を有している。切り替え手段21が1つのマークによる位置姿勢センシング指示する場合には、例えば複数見つかっているマーク5の内の、画面の中で最も左上に位置するマークを解析し、その外枠から検出された特徴点の座標を位置姿勢推定手段22に渡す。また、複数のマークによる位置姿勢センシングを指示する場合には、同定されたマーク5の座標を位置姿勢推定手段22に渡す。位置姿勢推定手段22の動作については、第1の実施の形態の中で詳述しているので、ここでは省略する。

【0143】次に第3の実施の形態について説明する。

【0144】第3の実施の形態においては、第2の実施の形態における解析するマーク数の切り替え手段21が、マークの画面内における視野角により動作をする。ここで、画面の水平画角に占めるマークの角度を視野角と呼ぶ。

【0145】図10にマークが画像入力された画面を示

す。

【0146】水平方向の画面画角が40度、その中に占めるマーク30から33のそれぞれの水平方向の視野角が15度、3度、5度、5度の場合を示している。マークの中で最大の視野角を持つマーク30の視野角により単一のマークでの位置姿勢センシングか、画面内の4つのマークによるセンシングかを切り替える。いま、10度をセンシング切り替えの閾値とする。図10の場合は最大の視野角のマーク30が10度を超えていたため単一のマークによるセンシングを行う。全てのマークが10度以下の視野角の場合には複数マークによるセンシングを行う。また、全てのマークが10度以下で、しかもマークの個数が3個以下の場合にはセンシングエラーとする。ここでは視野角が水平方向の場合を示したが、垂直方向、またその両方を掛け合せた画像内に占める面積で判定を行うことも可能である。

【0147】次に、本発明の第4の実施の形態について説明する。

【0148】これは、画像撮影部1以外と対象物4間の3次元位置姿勢を推定する方法に関するものである。今まで説明してきた実施例では、対象物4と画像撮影部1間の位置関係を計測する例を説明したきた。より実際的な例の場合には図1に示される画像撮影部1とコンピュータ2は、対象物4の位置姿勢を推定する位置センサとして利用される場合がある。この際には、該位置センサを含むシステム内に別の装置があり、その別の装置が規定する座標系をシステムが基準とするシステム座標系と考えることが多い。

【0149】この場合、コンピュータ2は画像撮影部1が規定するカメラ座標系から別の装置が規定する基準座標系への座標変換パラメータをあらかじめ格納しており、その座標変換パラメータを利用して、コンピュータ2は、オブジェクト座標系から該基準座標系への座標変換パラメータを算出する。そして、基準座標系における対象物4の3次元位置姿勢を推定する。

【0150】第4の実施の形態によれば、本発明の手段を別の装置のための位置姿勢センサとして利用することも可能である。

【0151】以上、本発明の実施の形態について説明したが、本発明はこれに限定されることなく、その趣旨を逸脱しない範囲で種々の改良・変更が可能である。

【0152】最後に、請求項記載の画像入力手段は画像撮影部1に含まれられる概念であり、同定手段、單一マークによる位置姿勢検出手段、複数マークによる位置姿勢検出手段、切換手段は、コンピュータ2に含まれる概念である。

【0153】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明によれば、対象物との位置姿勢関係が既知のマークを撮影した画像を解析して、当該マークと撮影手段との相対的位置姿勢

(11)

特開2002-90118

19

関係を求め、これもって当該対象物の位置及び姿勢を求める場合に、比較的広い領域で測定可能な3次元位置姿勢センシング装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態に係る3次元位置姿勢センシング装置の構成を示す機能ブロック図である。

【図2】第1の実施の形態に係る3次元位置姿勢センシング装置の改良例の構成を示す機能ブロック図である。

【図3】カメラ画像面と画像撮影部のカメラ座標系、及びオブジェクト座標系の関係を示した図である。

【図4】幾何学的特徴を持ったコードマーカーの一例を表したものである。

【図5】幾何学的特徴を持ったコードマーカーの一例を表したものである。

【図6】幾何学的特徴を持ったコードマーカーの一例を表したものである。

20

* 【図7】第1の実施の形態において、対象物の3次元位置姿勢を推定する動作の流れを説明するフローチャートである。

【図8】3個のコードマーカーM_iに関する3個の3角形△O_cM₁M_j (i, j = 1, 2, 3; i ≠ j) を示した図である。

【図9】第2の実施の形態に係る3次元位置姿勢センシング装置の構成図である。

【図10】マーカが画像入力された画面の一例を示す図である。

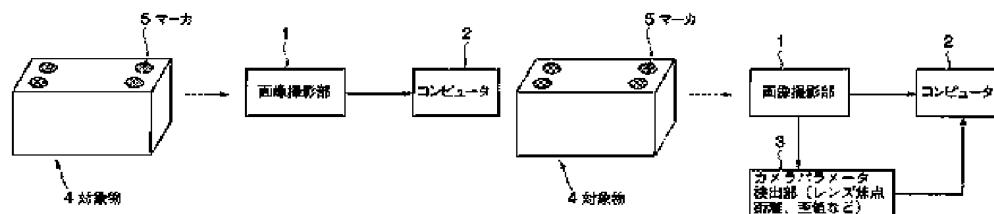
【符号の説明】

- 1 画像撮影部
- 2 コンピュータ
- 3 カメラパラメータ検出部
- 4 対象物
- 5 コードマーカ

10

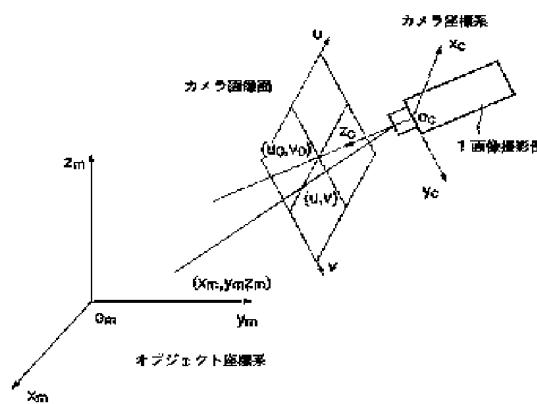
*

【図1】

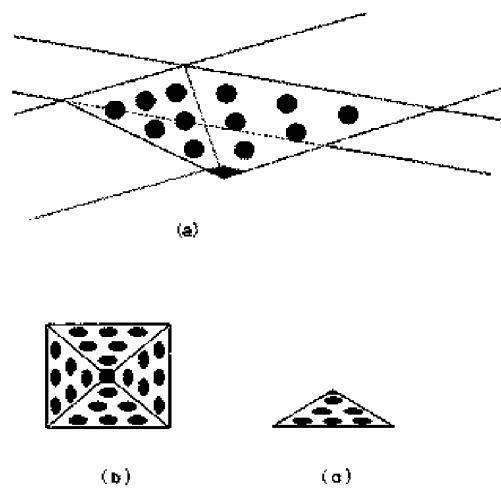


【図2】

【図3】



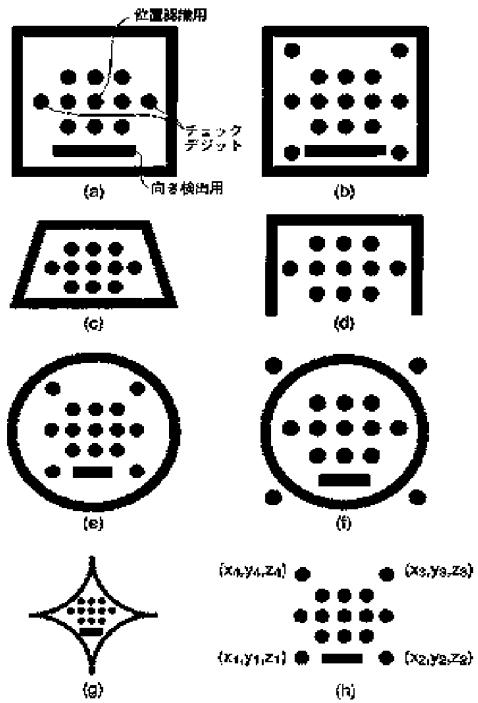
【図6】



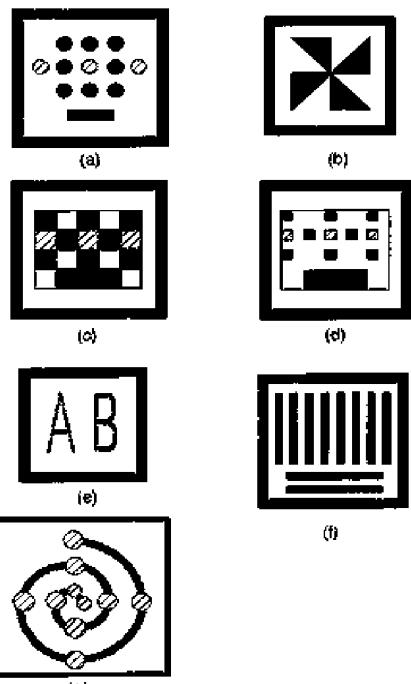
(12)

特開2002-90118

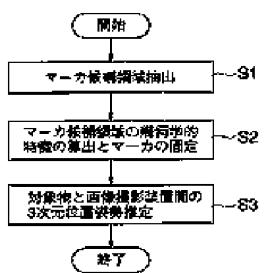
【図4】



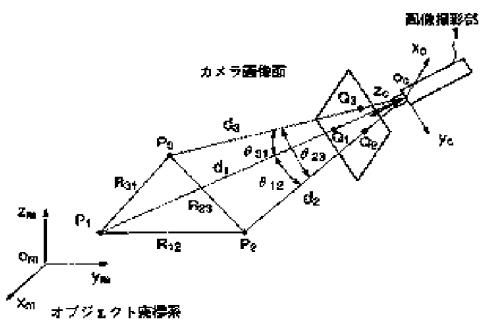
【図5】



【図7】



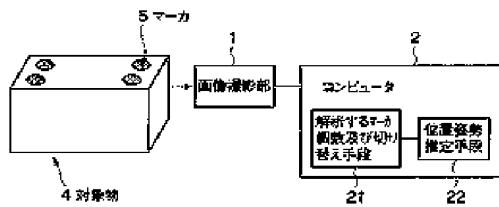
【図8】



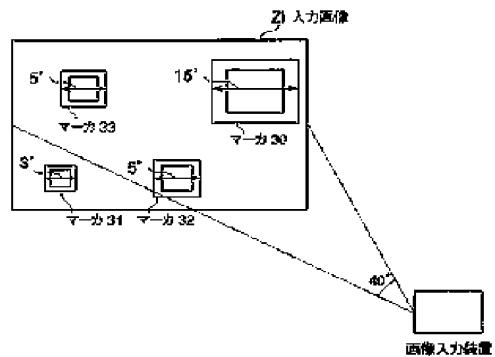
(13)

特開2002-90118

【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 柴▲崎▼ 隆男
東京都渋谷区恵谷2丁目43番2号 オリ
ンバス光学工業株式会社内

F ターム(参考) ZF055 AA04 AA20 AA37 BB27 BB28
BB29 BB30 EE05 FF04 JJ03
JJ26 LL16 OO18 OO21 OO29
OO31
5B057 AA20 BA02 BA29 CA01 CA16
CB01 CB16 CD02 CD03 CD20
CE06 DA07 DB03 DB06 DC04
DC33